



## PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11) Publication number: 08018137 A

(43) Date of publication of application: 19.01.1996

(51) Int. Cl. H01S 3/10

H01S 3/07, H01S 3/094, H01S 3/17

(21) Application number: 06145147

(22) Date of filing: 27.06.1994

(71) Applicant: NIPPON TELEGR & TELEPH  
CORP <NTT>(72) Inventor: OISHI YASUTAKE  
SHIMIZU MAKOTO  
KANAMORI TERUHISA  
YAMADA MAKOTO  
SUDO SHOICHI

## (54) HIGH OUTPUT OPTICAL AMPLIFIER

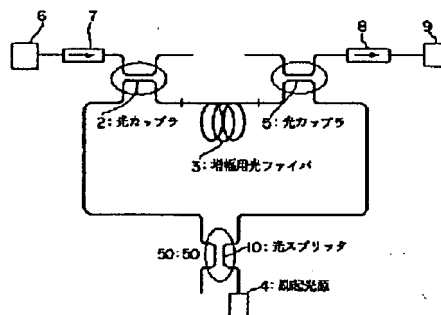
## (57) Abstract:

**PURPOSE:** To provide a high output optical amplifier which can provide a sufficiently high output even when an excitation beam source in the oscillation wavelength isolated from the center absorbing wavelength in the  $^1G_4$  level of Pr is used.

**CONSTITUTION:** A high power optical amplifier comprises a signal source 6 which is a semiconductor laser of  $1.3\mu\text{m}$  oscillation, optical isolators 7, 8, an excitation beam source 4 which generates an excitation beam of the wavelength isolated from the center absorbing wavelength of  $^1G_4$  level of Pr, optical couplers 2, 5, an optical splitter 10 for guiding the excitation beam from the excitation beam source 4 to the optical couplers 2, 5 by splitting the beam into two directions, an optical

fiber 3 for amplification where Pr is doped to the core and an optical beam spectrum analyzer 9. Length of optical fiber 3 for amplification is set longer than the optimum length at the center absorbing wavelength so that sufficient gain can be obtained even with the wavelength of the excitation beam.

COPYRIGHT: (C)1996,JPO



1. This document has been translated by computer. So the translation may not reflect the original precisely.
2. \*\*\*\* shows the word which can not be translated.
3. In the drawings, any words are not translated.

## TECHNICAL FIELD

### EFFECT OF THE INVENTION

---

[Effect of the Invention] As explained above, according to this invention, it is possible to constitute Pr dope fiber amplifier (PDFA) which has output characteristics high enough, and the PDFA concerned can be used as booster amplifier in an optical transmission system. Especially, recently, it becomes cheaply possible to be cheap and to offer PDFA excellent in output characteristics and a noise property in this invention which can use this as the excitation light source of amplifier, since acquisition of the solid state laser of high power is easy, and big economic effects can be brought about. As main applicable fields, there is application with an optical cable television system, and if the high powered optical amplifier by this invention is applied, an unprecedented low cost optical cable television system can be offered.

---

## CLAIMS

---

[Claim(s)]

[Claim 1]

It is the signal processor which processes data through a bus,

A data-processing means to process two or more data,

A data control means to control two or more data transfers which are connected to said bus and supplied from said data-processing means

It \*\*\*\*,

Said data control means controls said two or more data not to change except data predetermined in said two or more data on said bus.

Signal processor.

[Claim 2]

Said data-processing means performs a program according to instruction code,

Said data control means generates the 2nd address data based on the 1st address data directed through a bus from said data-processing means,

Based on said 2nd address data, it has further an instruction code storage means to output said instruction code to a bus,

Except when said 1st address data directed from said data-processing means are equivalent to predetermined instruction code in said instruction code storage means, they are not changed.

A signal processor according to claim 1.

[Claim 3]

In said data control means, said 1st address data are serially changed at intervals of predetermined, and said 2nd address data are generated.

A signal processor according to claim 2.

[Claim 4]

Said bus is the case where said two or more data are transmitted by each data unit including two or more propagation Rhine corresponding to each of two or more data, Said data control means controls two or more data supplied from said data-processing means based on a select signal, and outputs them to a bus.

Two or more data outputted to said bus are not changed except the data chosen by said select signal.

A signal processor according to claim 1.

[Claim 5]

It is the signal-processing approach of processing data through a bus,

Based on the 1st address data directed through a bus, the 2nd address data are generated from the processor which performs a program according to instruction code,

Based on said 2nd address data, said instruction code is outputted to a bus,

Except when said 1st address data which said processor directs are equivalent to predetermined instruction code, they are not changed.

The signal-processing approach.

[Claim 1] It is the high powered optical amplifier which uses as a magnification medium the optical fiber with which Pr was added by the core, is equipped with the excitation light source which generates the excitation light of the predetermined wavelength for exciting this magnification medium, and said excitation light source is the laser which used as the magnification medium the solid-state with which rare earth or transition metals was added, and is characterized by to set up the die length of said optical fiber based on the wavelength of said excitation light, and the magnification property of said magnification medium.

[Claim 2] The high powered optical amplifier according to claim 1 characterized by setting up the die length of said optical fiber for a long time than optimal Cho of said optical fiber in said main absorption wavelength when the wavelength of said excitation light is separated from the main absorption wavelength of 1G4 level of Pr.

[Claim 3] The magnification medium of said laser is a high powered optical amplifier according to claim 1 or 2 characterized by being the crystalline by which Nd was added.

[Claim 4] claim 1 characterized by the magnification medium of said laser being a crystalline of the oxide which contains Y and aluminum as a cation thru/or 3 -- a high powered optical amplifier given in either.

[Claim 5] claim 1 characterized by said optical fiber coming to add Pr and Yb to a core thru/or 4 -- a high powered optical amplifier given in either.

[Claim 6] claim 1 to which, as for said optical fiber, a core diameter is characterized by changing along with the longitudinal direction thru/or 5 -- a high powered optical amplifier given in either.

[Claim 7] claim 1 characterized by adding Pr also in the clad of said optical fiber thru/or 6 -- a high powered optical amplifier given in either.

[Claim 8] claim 1 characterized by said excitation light source being the fiber laser which consists of the glass with which Nd or Yb was added by the core, or glass laser which uses as an activity medium the glass with which Nd or Yb was added thru/or 7 -- a high powered optical amplifier given in either.

[Claim 9] Said glass with which Nd or Yb was added is fluoride glass, phosphate glass, fluorophosphate glass, silica glass, silicate glass, a BOIN toga lath, and  $\text{AlF}_3\text{-ZrF}_4$ . High

powered optical amplifier according to claim 8 characterized by being fluoride glass or a fluoride BERIREI toga lath.

[Detailed Description of the Invention]

[0001]

[Industrial Application] This invention relates to the high powered optical amplifier for 1.3-micrometer bands which has high output characteristics.

[0002]

[Description of the Prior Art] In recent years, the optical amplifier which uses as a magnification medium what added the praseodymium (Pr) to the core of an optical fiber, especially a fluoride fiber attracts attention as an optical amplifier for 1.3-micrometer bands. When Pr is used as an active element, the optical amplification of 1.3-micrometer band happens by the induced emission from 1G4 level to 3H5 level (refer to drawing 8 ).

[0003] Generally, when using an optical amplifier in an optical transmission system, it divides roughly and there is two kinds of operation. The 1st operation applies an optical amplifier as booster amplifier. In this case, since an optical amplifier increases the output of the source of a lightwave signal and it is used, big signal output characteristics are required. The 2nd operation applies as pre amplifier which amplifies the decreased lightwave signal which was connected to the preceding paragraph of a photodetector and has spread the inside of an optical fiber with a low noise. The requirements over pre amplifier are amplifying a minute signal greatly with a low noise, and the optical amplifier which fulfills such requirements is used.

[0004] In such operation, by the 1st approach, in order to acquire a big output signal (when using it as booster amplifier), an optical amplifier needs to excite the fiber with which Pr was added by optical high reinforcement. By the way, semiconductor laser (it is henceforth called LD) has been conventionally used for Pr addition fiber amplifier (it is henceforth called PDFA) as the excitation light source (bibliography 1:M.Shimizu et al OFC / 100C'93 postdeadline papers PD12, 1993.).

[0005]

[Problem(s)-to be Solved by the Invention] However, in excitation by LD, excitation of about 300mW was a limitation at the maximum, and about 13dBm of the output of PDFA was a limitation. However, since the output of about 17dBm was required for using as booster amplifier, the property of PDFA was inadequate for using as booster amplifier.

[0006] By the way, ground state absorption of 1G4 level of Pr has spread in the wavelength range \*\*0.05 micrometers or more focusing on 1.017 micrometers. However, the absorption-of-light cross section decreases and excitation absorption-of-light effectiveness will worsen except main wavelength as it separates from 1.017 micrometers whose wavelength is main wavelength. Of course, if the high power small laser light source which has oscillation wavelength is in 1.017 micrometers, PDFA for booster amplifier can be constituted using it.

[0007] However, now, for such the light source, the attempt which makes the Nd:YLF (YLiF<sub>4</sub>) solid state laser which does not exist but has oscillation wavelength in 1.047 micrometers as a second best plan the excitation light source is \*\*\*\*\*

(bibliography 2:T.Whitley et al OAA'92 postdeadline papers PD4, 1992.). It is reported that excitation luminous intensity required in order that excitation efficiency may worsen as compared with 1.017-micrometer excitation in order to fall to 1 for about 2 minutes as compared with the case of 1.017 micrometers, and an absorption cross section in case

oscillation wavelength is 1.047 micrometers may take out high power from PDFA will increase (bibliography 2).

[0008] Therefore, when Nd:YLF solid state laser is made into the excitation light source, the peripheral device for cooling the excitation light source is also needed, and the miniaturization of PDFA becomes difficult. For this reason, it has been accepted theory that that it is equipment of small and an energy-saving mold cannot apply as an object for optical communication demanded especially. as the small solid state laser from such a thing -- Nd:YLF -- a long wave -- although Nd:YAG laser (oscillation wavelength is 1.064 micrometers) oscillated by merit exists -- oscillation wavelength -- Nd:YLF laser -- further -- a long wave -- since it shifts to merit, although oscillation effectiveness is better than Nd:YLF laser, it is thought that it cannot be used at all as the excitation light source of PDFA.

[0009] As mentioned above, when the excitation light source of oscillation wavelength which the excitation light source of the oscillation wavelength which fully approached the main absorption wavelength (1.017 micrometers) of 1G4 level did not exist in the former, and is separated from the main absorption wavelength concerned was used, it was difficult to increase excitation luminous intensity, in order to obtain an output high enough, and to miniaturize PDFA. In view of the situation mentioned above, it succeeds in this invention, and even if it uses the excitation light source of oscillation wavelength which is separated from the main absorption wavelength (1.017 micrometers) of 1G4 level, it aims at offering the high powered optical amplifier which can obtain an output high enough, especially PDFA.

[0010]

[Means for Solving the Problem] In order to solve the above-mentioned technical problem, a high powered optical amplifier according to claim 1 Use as a magnification medium the optical fiber with which Pr was added by the core, and it has the excitation light source which generates the excitation light of the predetermined wavelength for exciting this magnification medium. Said excitation light source is the laser which used as the magnification medium the solid-state with which rare earth or transition metals was added, and it is characterized by setting up the die length of said optical fiber based on the wavelength of said excitation light, and the magnification property of said magnification medium.

[0011] In the above-mentioned configuration, the high powered optical amplifier according to claim 2 is characterized by setting up the die length of said optical fiber for a long time than optimal Cho of said optical fiber in said main absorption wavelength, when the wavelength of said excitation light is separated from the main absorption wavelength of 1G4 level of Pr. The high powered optical amplifier according to claim 3 is characterized by the magnification medium of said laser being a crystalline by which Nd was added in the above-mentioned configuration. a high powered optical amplifier according to claim 4 -- claim 1 thru/or 3 -- in the thing given in either, the magnification medium of said laser is characterized by being the crystalline of the oxide which contains Y and aluminum as a cation.

[0012] In the above-mentioned configuration, said optical fiber is characterized by coming to add Pr and Yb to a core by the high powered optical amplifier according to claim 5. The high powered optical amplifier according to claim 6 is characterized by changing the core diameter along with the longitudinal direction, as for said optical fiber

in the above-mentioned configuration. The high powered optical amplifier according to claim 7 is characterized by adding Pr also in the clad of said optical fiber in the above-mentioned configuration.

[0013] Said excitation light source is characterized by a high powered optical amplifier according to claim 8 being the fiber laser which consists of the glass with which Nd or Yb was added by the core in the above-mentioned configuration, or glass laser which uses as an activity medium the glass with which Nd or Yb was added. Said glass with which, as for the high powered optical amplifier according to claim 9, Nd or Yb was added in the thing according to claim 8 is fluoride glass, phosphate glass, fluorophosphate glass, silica glass, silicate glass, a BOIN toga lath, and  $\text{AlF}_3\text{-ZrF}_4$ . It is characterized by being fluoride glass or a fluoride BERIREI toga lath.

[0014]

[Function] According to the above-mentioned configuration, the die length of an optical fiber is set up based on the wavelength of excitation light, and the magnification property of an optical fiber. Namely, also when exciting on the wavelength which is separated from the main absorption wavelength of 1G4 level of Pr, it is not said remarkably that the gain from which the die length of an optical fiber is appropriately set up, and is obtained falls. For this reason, it becomes usable as the excitation light source about the existing cheap light source, and an output high even in such a case enough is obtained.

[0015]

[Example] Before explaining the example of this invention, the view used as the base of this invention is explained first. Generally, when incidence of the excitation light of predetermined wavelength is carried out to (Praseodymium Pr) addition fiber, the maximum signal output can be obtained from the fiber concerned by making the fiber concerned into predetermined die length (it being henceforth called optimal Cho). If, as for this, a fiber excels superfluously, since it has loss of finite, a fiber will be for the amplified signal light to decline in the part which does not receive the magnification in a fiber (for example, when a fiber longer than the die length when excitation light is altogether absorbed by a certain die length is used as optical amplification).

[0016] Of course, although the above-mentioned optimal length is dependent on the concentration of Pr added to the core of a fiber, when it is 1.017-micrometer excitation and the concentration of Pr is 500 ppm, he is about 15m-20m. However, as the fiber of die length of this level was mentioned above in the case where it considers as a magnification medium, the more excitation wavelength separates from 1.017 micrometers, it becomes difficult to get and, the more the signal output outputted will decline gain. Since this situation is generally known widely, development of the high power laser with which oscillation wavelength agreed in 1.017 micrometers which is main wavelength is performed conventionally.

[0017] However, when thinking on the other hand and it excites on wavelength other than main wavelength, gain falls, without all the power of the excitation light by which incidence was carried out by the absorption cross section of 1G4 level becoming small to the end of a fiber being absorbed by Pr in a fiber, because outgoing radiation of a part of power is carried out from the other end of a fiber. Therefore, if a fiber is lengthened more, many excitation light by which incidence was carried out will be absorbed by Pr in a fiber, and gain should go up.

[0018] That is, since choosing fiber length appropriately itself was not known also when

exciting on 1.017 micrometers and the left wavelength conventionally, the fiber of the almost same die length as the case where it is 1.017 micrometers is used, and, thereby, it can be said that gain was falling remarkably. On the other hand, it enables it to constitute the optical amplifier of output characteristics high also as the excitation light source for the existing cheap light source from this invention by choosing fiber length according to excitation wavelength. The example of this invention in which it succeeded hereafter based on the fundamental view mentioned above is explained with reference to a drawing. [0019] The [1st example] Drawing 1 is drawing showing the outline configuration of the high powered optical amplifier by the 1st example of this invention, and in this drawing, 6 is the signal light source and has applied the semiconductor laser of 1.3-micrometer oscillation in this example. An optical isolator and 4 are the excitation light sources, and 7 and 8 have applied 2OLD excitation Ti:aluminum<sub>3</sub> (sapphire) laser by this example, for example, respectively. As for the optical splitter which 2 and 5 divide an optical coupler, and 10 divides the excitation light from the excitation light source 4 into two, and is led to optical couplers 2 and 5, and 3, the optical fiber for magnification and 9 are optical spectrum analyzers.

[0020] In such a configuration, after the signal light from the signal light source 6 is led to the optical fiber 3 for magnification and amplified with the optical fiber 3 for magnification concerned through an optical isolator 7 and an optical coupler 2, it is led to the optical spectrum analyzer 9 through an optical coupler 5 and an optical isolator 8. by the way -- this example -- as the optical fiber 3 for magnification -- ZrF<sub>4</sub> with the core clad refractive-index difference of 3.7%, a core diameter [ of 1.8 micrometers ], and a Pr concentration [ in a core ] of 1000 ppm The system fluoride fiber (it is only henceforth called a fluoride fiber) is used.

[0021] Here, with reference to drawing 2 , the output signal property of the optical fiber 3 for magnification is considered. Drawing 2 is drawing in which having set excitation light reinforcement constant 400mW, having changed the die length and the excitation light wave length of the optical fiber 3 for magnification into, respectively, and having shown an example of the measurement result of gain to 1.30-micrometer signal light. Sayori Cho predetermined in this drawing to fiber length -- if it becomes long -- the same fiber length -- 1.017 micrometers -- a long wave -- it turns out that the direction of excitation of merit serves as high interest profit from 1.017-micrometer excitation.

[0022] For example, when fiber length is 10m, only about 20dB of directions of 1.017-micrometer excitation serves as high interest profit from 1.064-micrometer excitation, but when fiber length is 60m, only about 2dB of directions of 1.064-micrometer excitation serves as high interest profit from 1.017-micrometer excitation conversely. Moreover, the difference of the maximum gain in case fiber length is 20m, and gain when fiber length excites the 60m optical fiber 3 for magnification by 1.064 micrometers was set to 2dB or less, and things were checked when gain also with sufficiently big 1.064-micrometer excitation could be acquired.

[0023] Next, the case (fiber length is 20m) where the optical fiber 3 for magnification is excited by LD of 1.017 micrometer oscillation and Nd of 1.064 micrometer oscillation: Consider an excitation light dependency with a signal strength [ with the case (fiber length is 60m) where it excites by the YAG laser ] of 1.30 micrometers on the strength with reference to drawing 3 . In addition, the signal strength shown in this drawing is obtained when incidence of the signal with a reinforcement of 1mW is carried out to the

optical fiber 3 for magnification.

[0024] Although it could excite only by the reinforcement of 300mW at the maximum in LD excitation but the maximum signal output was also about 22mW, when Nd:YAG laser was used, it could excite to the reinforcement of 800mW and the signal output of 120mW was able to be obtained on that occasion, so that clearly from drawing 3 .

Generally, when using PDFA as booster amplifier, the signal output of 50mW or more is required. Therefore, when Nd:YAG laser is used as the excitation light source 4, the high powered optical amplifier which can fully be equal to use as booster amplifier can be constituted.

[0025] The [2nd example] Drawing 4 is drawing showing the outline configuration of the high powered optical amplifier by the 2nd example of this invention, and the high powered optical amplifier shown in this drawing connects two bidirectional excitation optical amplification units A and B to a serial through an optical isolator 11, and is constituted. In addition, in this drawing, the same sign is given to the part which is common to each part of drawing 1 , and that explanation is omitted.

[0026] As shown in drawing 4 , the bidirectional excitation optical amplification unit A consists of optical couplers 2A and 5A, the butt joint sections 14A and 14A, and optical fiber 3 for magnification A that consists of a rare earth addition optical fiber. The excitation light source 4 is connected through optical splitter 10', the signal light source 6 is connected to input edge 2Ab of another side through an optical isolator 7, and end 3Aa of optical fiber 3A for magnification by which rare earth elements were added through butt joint section 14A is further connected to one input edge 2Aa of the above-mentioned optical coupler 2A in outgoing end 2Ac at it.

[0027] Moreover, other end 3Ab of optical fiber 3A for magnification is connected to optical coupler 5a through butt joint section 14A, and the optical isolator 11 is connected to outgoing end 5 of optical coupler 5a a. That is, the bidirectional excitation optical amplification unit A outputs the magnification signal light which carries out incidence of the excitation light from the excitation light source 4 through optical splitter 10', optical coupler 2A, and optical fiber 3A and by which it is spread from optical fiber 3A from outgoing end 5Aa.

[0028] Like the bidirectional excitation optical amplification unit A mentioned above, the bidirectional excitation optical amplification unit B 1st optical coupler 2B into which the excitation light source 4 is connected to one input edge 2Ba, and signal light is inputted from input edge 2B[ of another side ] b, Optical fiber 3B for magnification by which the rare earth elements by which end 3Ba was connected to outgoing end 2Bc of this optical coupler 2B were added, It has optical coupler 5B which outputs the magnification signal light which is connected to this optical fiber 3B for magnification, and carries out incidence of the excitation light from the excitation light source 4 from other end 3Bb of optical fiber 3B, and is spread from optical fiber 3B from outgoing end 5Ba.

[0029] In addition, LD excitation Nd oscillated by 1.064 micrometers as the above-mentioned excitation light source 4 in this example: An YAG laser etc. is used. Moreover, in order that the above-mentioned optical coupler 2A may combine signal light and excitation light and may carry out incidence to optical fiber 3A for magnification, it is a thing. Furthermore, optical coupler 5A, 2B, and 5B carry out bidirectional excitation of the optical fibers 3A or 3B for magnification, and especially optical coupler 5A and 2B are for introducing the signal light by which outgoing radiation was carried out from



optical fiber 3 for magnification A to optical fiber 3B for magnification. Moreover, optical coupler 5B is for outputting the magnification signal light from optical fiber 3 for magnification B.

[0030] In such a configuration, via optical coupler 5A, an optical isolator 11, and optical coupler 2B, incidence of the signal light amplified by optical fiber 3A for magnification will be carried out, and it will be amplified again here to optical fiber 3B. These people performed the magnification trial using the high powered optical amplifier of the configuration mentioned above and actuation. As optical fiber 3 for magnification A of the high powered optical amplifier with which this trial was presented 60m and a core clad ratio refractive-index difference " $\Delta n$ " for 1.6 micrometers and die length 3.7%, [ a core diameter ] 1000 ppm and a core presentation are the addition concentration of  $\text{Pr}^{3+}$  in a core  $\text{ZrF}_4$  (56)- $\text{BaF}_2$ -(16.5)  $\text{LaF}_3$ -(3.5)  $\text{YF}_3$  (2)- $\text{AlF}_3$ -(2.5)  $\text{LiF}$ (7)- $\text{PbF}_2$  (12.5-mol %), A clad presentation is  $\text{ZrF}_4$ -(47.5)  $\text{BaF}_2$ -(23.5)  $\text{LaF}_3$ -(2.5)  $\text{YF}_3$ . The fluoride fiber of (2)- $\text{AlF}_3$ (4.5)- $\text{NaF}$  (20-mol %) was used. Moreover, the same thing as optical fiber 3A for magnification was used as optical fiber 3 for magnification B. When incidence of the 1.30-micrometer lightwave signal was carried out like the high powered optical amplifier by the 1st example mentioned above, output reinforcement was measured as a result of such a magnification trial, and excitation light was 800mW, the output of 120mW or more was obtained.

[0031] The [3rd example] A different point from what the configuration of the high powered optical amplifier by the 3rd example of this invention depends on the 2nd example mentioned above is a point of having used Nd:YLF (oscillation wavelength: 1.053 micrometers), as the excitation light source 4 (refer to drawing 4 ). When the magnification experiment was conducted using the high powered optical amplifier by this example, the signal output of 120mW or more was obtained by 800mW excitation.

[0032] The [4th example] A different point from what the configuration of the high powered optical amplifier by the 4th example of this invention depends on the 2nd example mentioned above is  $\text{InF}_3$  with 3.7% of core clad refractive-index differences, the core diameter of 2.2 micrometers, a die length [ of 60m ], and a Pr concentration [ in a core ] of 1000 ppm as optical fiber 3 for magnification B. It is a point using a system fluoride fiber. When the magnification experiment was conducted using the high powered optical amplifier by this example, the signal output of 130mW or more was obtained by 800mW excitation.

[0033] The [5th example] A different point from what the configuration of the high powered optical amplifier by the 5th example of this invention depends on the 2nd example mentioned above sets the fiber length of the optical fibers 3A and 3B for magnification to 40m, respectively, and is a point using Yb:YAG (oscillation wavelength: 1.029 micrometers) as the excitation light source 4. When the magnification experiment was conducted using the high powered optical amplifier by this example, the signal output of 120mW or more was obtained by 700mW excitation.

[0034] The [6th example] a different point from what the configuration of the high powered optical amplifier by the 6th example of this invention depends on the 2nd example mentioned above As optical fiber 3 for magnification A, 1.6 micrometers and die length for a core diameter 60m, The addition concentration of  $\text{Pr}^{3+}$  in a core 3.7% for a core clad ratio refractive-index difference " $\Delta n$ " 1000 ppm, A core presentation is  $\text{ZrF}_4$ . (56)- $\text{BaF}_2$ -(16.5)  $\text{LaF}_3$ -(3.5)  $\text{YF}_3$  (2)- $\text{AlF}_3$ -(2.5)  $\text{LiF}$ (7)- $\text{PbF}_2$  (12.5-mol %), A clad

presentation is ZrF<sub>4</sub>-(47.5) BaF<sub>2</sub>-(23.5) LaF<sub>3</sub>-(2.5) YF<sub>3</sub>. The point using the fluoride fiber of (2)-AlF<sub>3</sub>-(4.5) NaF (20-mol %), As optical fiber 3 for magnification B, 60m and a core clad ratio refractive-index difference "deltan" for 3 micrometers and die length 2%, [ a core diameter ] 1000 ppm and a core presentation are the addition concentration of Pr<sup>3+</sup> in a core ZrF<sub>4</sub> (56)-BaF<sub>2</sub> (21)-LaF<sub>3</sub>-(3.5) YF<sub>3</sub> (2)-AlF<sub>3</sub>-(2.5) LiF(7)-PbF<sub>2</sub> (eight-mol %), A clad presentation is ZrF<sub>4</sub>-(47.5) BaF<sub>2</sub>-(23.5) LaF<sub>3</sub>-(2.5) YF<sub>3</sub>. It is a point using the fluoride fiber of (2)-AlF<sub>3</sub>-(4.5) NaF (20-mol %). That is, the refractive-index difference of optical fiber 3A for magnification of the bidirectional optical amplification unit A located in the upstream serves as size from the refractive-index difference of optical fiber 3B for magnification of the bidirectional optical amplification unit B located in the downstream. When the magnification experiment was conducted using the high powered optical amplifier by this example, the signal output of 120mW or more was obtained by 800mW excitation.

[0035] The [7th example] The point that the high powered optical amplifier by the 7th example of this invention differs from what is depended on the 1st example (refer to drawing 1 ) is a point using the optical fiber which made smallness core diameter W of the end of the core 13 in a clad 12, and made core diameter W' of the other end size as an optical fiber 3 for magnification, as shown in drawing 5 . That is, the core diameter of the optical fiber 3 for magnification is gradually changed along with the longitudinal direction, and the optical fiber 3 for magnification consists of input sides of signal light so that a core diameter may serve as size gradually towards the output side of signal light. taking the configuration mentioned above -- the core diameter of the optical fiber 3 for magnification -- smallness -- big gain obtains in a field (upstream of the signal light to spread) -- having -- a core diameter -- size -- high saturation power is realized in a field (downstream of the signal light to spread).

[0036] The magnification experiment was conducted like the 1st example using the high powered optical amplifier by this example. However, the optical fiber 3 for magnification of the high powered optical amplifier with which this magnification trial was presented A core glass presentation is ZrF<sub>4</sub>. (56)-BaF<sub>2</sub>-(16.5) LaF<sub>3</sub>-(3.5) YF<sub>3</sub> (2)-AlF<sub>3</sub>-(2.5) LiF(7)-PbF<sub>2</sub> (12.5-mol %), A clad glass presentation is ZrF<sub>4</sub>-(47.5) BaF<sub>2</sub>-(23.5) LaF<sub>3</sub>-(2.5) YF<sub>3</sub>. The fluoride fiber of (2)-AlF<sub>3</sub>-(4.5) NaF (20-mol %) was used.

[0037] Moreover, in the core diameter of the end of an optical fiber, the core diameter of 1.4 micrometers and the other end set addition concentration of Pr<sup>3+</sup> in a core to 1000 ppm for 2.2 micrometers and a core clad ratio refractive-index difference "deltan" 3.7%. of course, a core diameter -- smallness -- the optical fiber edge was connected to the optical coupler 2, and the other end was connected to the optical coupler 5. Moreover, the wavelength of the excitation light source is 1.064 micrometers, and signal light wave length could be 1.30 micrometers. When excitation light reinforcement was 800mW as a result of the above-mentioned magnification trial, the output signal 120mW or more was checked from the optical fiber 3 for magnification.

[0038] [the 8th example] -- a different point from what the configuration of the high powered optical amplifier by the 8th example of this invention depends on the 2nd example mentioned above -- the optical fibers 3A and 3B for magnification -- it is the point which added 1000 ppm of Pr to each core, and added 300 ppm of Pr also to the clad. However, the presentation of those other than Pr is the same as that of what is depended on the 2nd example. When the magnification experiment was conducted using the high

powered optical amplifier by this example, the signal output of 120mW or more was obtained by 800mW excitation. however, the above-mentioned magnification experiment -- setting -- the optical fibers 3A and 3B for magnification -- each fiber length was set to 50m.

[0039] The [9th example] a different point from what the configuration of the high powered optical amplifier by the 9th example of this invention depends on the 1st example mentioned above ZrF<sub>4</sub> by which Nd was doped by the core as the excitation light source 4 (refer to drawing 1 ) The point using system fluoride fiber laser (oscillation wavelength is 1.05 micrometers), As the excitation light source of this fiber laser, GaAlAs semiconductor laser is used and it is 4F<sub>7/2</sub>, and 4F<sub>5/2</sub>. Or 4F<sub>3/2</sub> It is the point which excited level. In the high powered optical amplifier by this example, when wavelength carried out incidence of 1.30 micrometers and the signal light of OdBm and measured output signal reinforcement, the output signal 120mW or more has been checked to 800mW excitation (wavelength of 1.05 micrometers).

[0040] In addition, the fluorophosphate glass fiber with which Nd was doped by the core as the excitation light source 4 (oscillation wavelength of 1.05 micrometers), Phosphoric-acid glass fiber (oscillation wavelength of 1.053 micrometers), silicate glass fiber (oscillation wavelength of 1.06 micrometers), A silica glass fiber (oscillation wavelength of 1.06 micrometers), borate glass fiber (oscillation wavelength of 1.06 micrometers), A fluoride BERIREI toga lath fiber (oscillation wavelength of 1.047 micrometers), and AlF<sub>3</sub>-ZrF<sub>4</sub> System fluoride glass fiber (the oscillation wavelength of 1.05 micrometers) Bibliography 3: Even when Materials Science Forum, Vol.19-20, P.19, and 1987. were used, the signal output of 120mW or more was able to be obtained on the wavelength of 1.30 micrometers.

[0041] Moreover, in this example, although Nd dope fiber laser was used, it is not that it may replace with this and Nd dope glass laser using each glass may be used as the excitation light source, either, until it says. 4F<sub>7/2</sub>, and 4F<sub>5/2</sub> which are used in order to excite Nd when these fiber laser and glass laser are used Or 4F<sub>3/2</sub> The bandwidth of absorption bands, such as level, also produces the advantage of it being large and being easy to choose excitation wavelength out of a crystal.

[0042] The [10th example] A different point from what the configuration of the high powered optical amplifier by the 10th example of this invention depends on the 9th example mentioned above is a point using the fiber laser by the so-called double clad fiber which has structure as shown in drawing 6 (a), drawing 6 (b) or drawing 7 (a), and drawing 7 (b) as the excitation light source 4 (refer to drawing 1 ). When the magnification experiment was conducted using the high powered optical amplifier by this example, the signal output of 100mW or more was able to be obtained on the wavelength of 1.30 micrometers.

[0043] The [11th example] A different point from what the configuration of the high powered optical amplifier by the 11th example of this invention depends on the 9th and 10th examples mentioned above is a point using what doped Nd and Yb as the excitation light source 4 (refer to drawing 1 ) as the fiber laser of the 9th and 10th examples, or activity ion of glass laser. As the excitation light source of such laser, GaAlAs semiconductor laser is used and, thereby, it is 4F<sub>7/2</sub> of Nd, and 4F<sub>5/2</sub>. Or 4F<sub>3/2</sub> level is excited. If it succeeds in the above-mentioned excitation, the energy transfer from Nd to Yb happens, and it is Yb. 2F<sub>5/2</sub> level is excited, and laser oscillation with a wavelength

[ by  $2F5/2 \rightarrow 2F7/2$  transition of Yb ] of 1.02 micrometers is started. As a result of actually exciting Pr dope fiber (optical fiber 3 for magnification) by this laser beam, the signal output of 100mW or more was obtained on the wavelength of 1.30 micrometers. [0044] The [12th example] A different point from what the configuration of the high powered optical amplifier by the 12th example of this invention depends on the 11th example mentioned above is a point of exciting  $2F5/2$  level of Yb, using InGaAs semiconductor laser (wavelength of 940-980nm) as the excitation light source of the fiber laser of the 11th example, or glass laser, and making 1.02-micrometer oscillation by  $2F5/2 \rightarrow 2F7/2$  transition of Yb causing. As a result of actually exciting Pr dope fiber by this laser beam, the signal output of 100mW or more was able to be obtained on the wavelength of 1.30 micrometers.

[0045] In each example explained above, as for the solid state laser for excitation, \*\*\*\* is not restricted to these by making into the excitation light source the solid state laser of LD excitation which used Nd:YAG (1.064 micrometers), Nd:YLF (1.053 micrometers), and Yb:YAG (1.029 micrometers). For example, the Nd:YLF solid state laser of 1.047-micrometer oscillation is sufficient, and it is that by which oscillation wavelength is contained in the absorption band of  $3H4 \rightarrow 1G4$  absorption transition of  $Pr^{3+}$ , and if high power, it is usable as the excitation light source. Of course, an example is taken from the economical efficiency of amplifier and it cannot be overemphasized that what has quantum efficiency high as much as possible is desirable. In what has high quantum efficiency, since calorific value is reduced, this is because the heat dissipation means at the time of constituting amplifier etc. can be made simple.

[0046] In addition, it sets in each above-mentioned example, and is  $ZrF_4$  as a fiber material. A system and  $LnF_3$  Although the fluoride glass of a system was used, as a material, it is not limited to this. for example,  $HfF_4$   $ZrF(s)_4$ , such as fluoride glass of a system, mix TOHARA which uses fluoride glass other than a system, chloride glass, iodide glass, bromide glass, and two or more halide ion as an anion -- the id -- you may be oxide glass, such as glass, chalcogenide glass, KARUKO halide glass containing halide ion, fluorophosphate glass, and quartz glass. Moreover, although the fiber with which only Pr was added by the core was used as an optical fiber for magnification, it cannot be overemphasized that Pr and Yb can also use the fiber both added.

[0047]

[Effect of the Invention] As explained above, according to this invention, it is possible to constitute Pr dope fiber amplifier (PDFA) which has output characteristics high enough, and the PDFA concerned can be used as booster amplifier in an optical transmission system. Especially, recently, it becomes cheaply possible to be cheap and to offer PDFA excellent in output characteristics and a noise property in this invention which can use this as the excitation light source of amplifier, since acquisition of the solid state laser of high power is easy, and big economic effects can be brought about. As main applicable fields, there is application with an optical cable television system, and if the high powered optical amplifier by this invention is applied, an unprecedented low cost optical cable television system can be offered.

#### Brief Description of the Drawings]

[Drawing 1] It is drawing showing the outline configuration of the high powered optical amplifier by the 1st example of this invention.

[Drawing 2] It is the property Fig. showing the magnification property of the optical fiber 3 for magnification by this example.

[Drawing 3] It is the property Fig. showing the excitation light dependency of the signal light obtained in this example on the strength.

[Drawing 4] It is drawing showing the outline configuration of the high powered optical amplifier by the 2nd example of this invention.

[Drawing 5] It is a conceptual diagram for explaining the structure of the optical fiber 3 for magnification used for the high powered optical amplifier by the 7th example of this invention.

[Drawing 6] It is drawing for explaining the structure of the fiber part of the fiber laser used for the high powered optical amplifier by the 10th example of this invention, and the conceptual diagram to which (a) expresses the cross-section structure of this fiber, and (b) are the property Figs. showing the refractive-index distribution in this cross section.

[Drawing 7] It is drawing for explaining the structure of the fiber part of the fiber laser used for the high powered optical amplifier by the 10th example of this invention, and the conceptual diagram to which (a) expresses the cross-section structure of this fiber, and (b) are the property Figs. showing the refractive-index distribution in this cross section.

[Drawing 8] It is the energy diagram of Pr3+.

[Description of Notations]

2, 2A, 2B Optical coupler

3, 3A, 3B Optical fiber for magnification

4 Excitation Light Source

6 Signal Light Source

7, 8, 11 Optical isolator

9 Optical Spectrum Analyzer

10, 10' Optical splitter

12 Clad

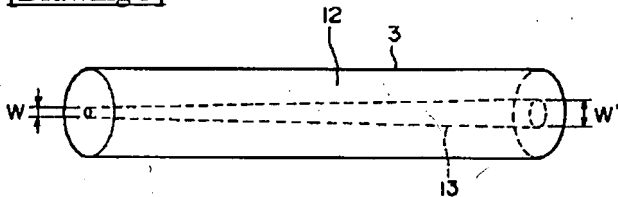
13 Core

14A, 14B Butt joint section

A, B Bidirectional excitation optical amplification unit

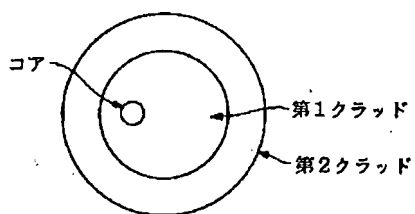
## DRAWINGS

[Drawing 5]

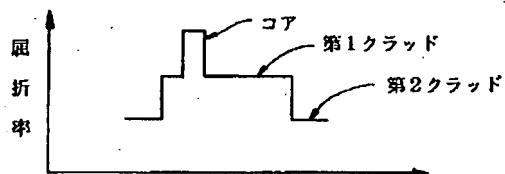


[Drawing 6]

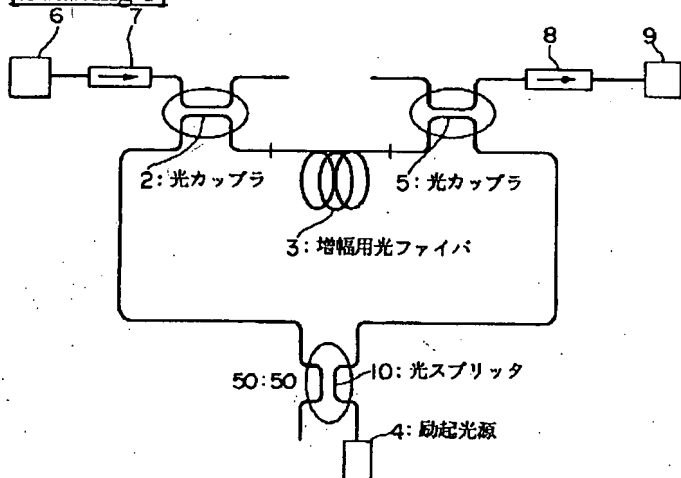
(a)



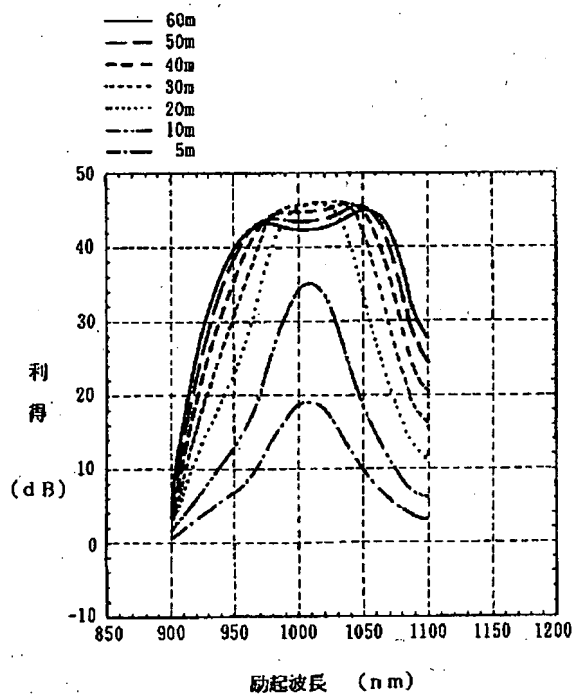
(b)



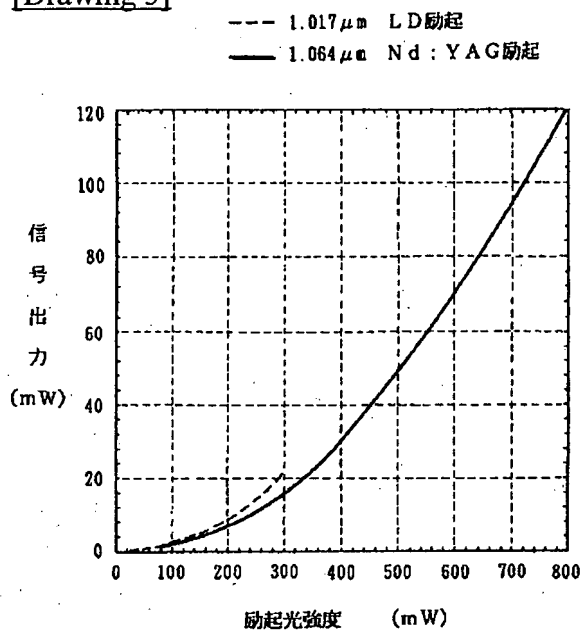
[Drawing 1]



[Drawing 2]

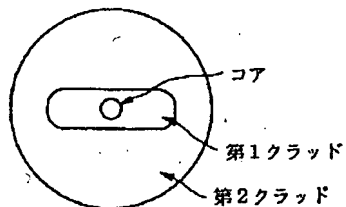


[Drawing 3]

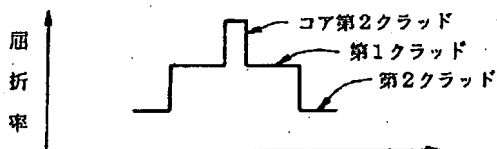


[Drawing 7]

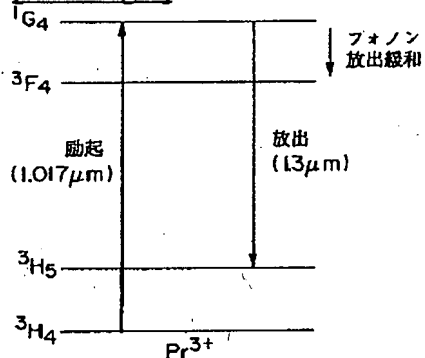
(a)



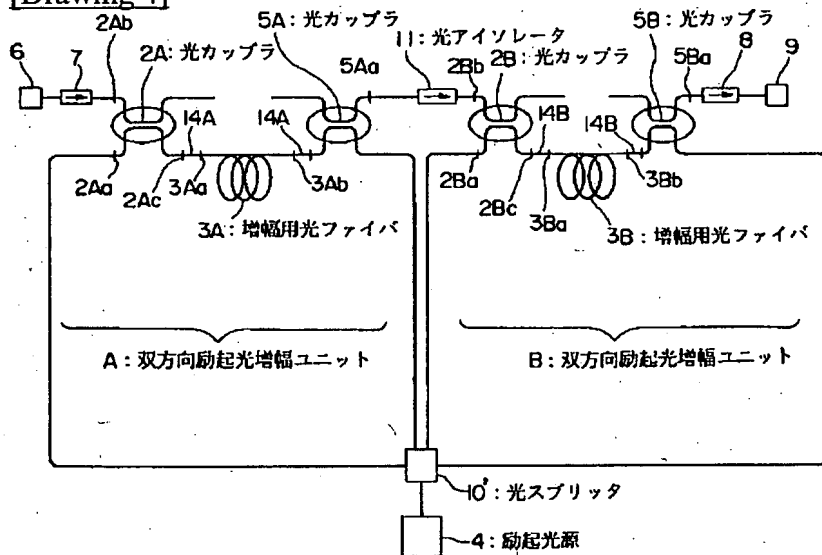
(b)



[Drawing 8]



[Drawing 4]







## 【特許請求の範囲】

【請求項1】 コアにPrが添加された光ファイバを増幅媒体とし、

該増幅媒体を励起するための所定波長の励起光を発生する励起光源を備え、

前記励起光源は希土類または遷移金属が添加された固体を増幅媒体としたレーザであり、前記光ファイバの長さを前記励起光の波長と前記増幅媒体の増幅特性とに基づいて設定することを特徴とする高出力光増幅器。

【請求項2】 前記励起光の波長がPrの<sup>1</sup>G<sub>4</sub>準位の中心吸収波長から離れている場合には、前記光ファイバの長さを、前記中心吸収波長における前記光ファイバの最適長よりも長く設定することを特徴とする請求項1に記載の高出力光増幅器。

【請求項3】 前記レーザの増幅媒体は、Ndが添加された結晶体であることを特徴とする請求項1または2に記載の高出力光増幅器。

【請求項4】 前記レーザの増幅媒体は、陽イオンとしてY、Alを含む酸化物の結晶体であることを特徴とする請求項1ないし3いずれかに記載の高出力光増幅器。

【請求項5】 前記光ファイバは、コアにPrおよびYbを添加してなることを特徴とする請求項1ないし4いずれかに記載の高出力光増幅器。

【請求項6】 前記光ファイバは、コア径がその長手方向に沿って変動していることを特徴とする請求項1ないし5いずれかに記載の高出力光増幅器。

【請求項7】 前記光ファイバのクラッド中にもPrを添加したことを特徴とする請求項1ないし6いずれかに記載の高出力光増幅器。

【請求項8】 前記励起光源は、コアにNdまたはYbが添加されたガラスから成るファイバレーザ、あるいはNdまたはYbが添加されたガラスを活性媒体とするガラスレーザであることを特徴とする請求項1ないし7いずれかに記載の高出力光増幅器。

【請求項9】 NdまたはYbが添加された前記ガラスは、フッ化物ガラス、リン酸ガラス、フッリン酸ガラス、シリカガラス、ケイ酸塩ガラス、ポイントガラス、AlF<sub>3</sub>-ZrF<sub>4</sub> フッ化物ガラス、あるいはフッ化ベリレイトガラスであることを特徴とする請求項8に記載の高出力光増幅器。

## 【発明の詳細な説明】

【0001】

【産業上の利用分野】 本発明は、高い出力特性を有する1.3μm帯用の高出力光増幅器に関する。

【0002】

【従来の技術】 近年、プラセオジウム(Pr)を光ファイバ、特にフッ化物ファイバのコアに添加したものを増幅媒体とする光増幅器が、1.3μm帯用の光増幅器として注目を集めている。Prを活性元素として用いた場合、1.3μm帯の光増幅は、<sup>1</sup>G<sub>4</sub>準位から<sup>3</sup>H<sub>5</sub>準位へ

の誘導放出により起こる(図8参照)。

【0003】 一般に、光増幅器を光通信システム中で用いる場合、大別して2種類の使用方法がある。第1の使用方法は、光増幅器をブースターアンプとして応用するというものである。この場合、光増幅器は、光信号源の出力を増大するために使われるため、大きな信号出力特性が要求される。第2の使用方法は、光検出器の前段に接続され、光ファイバ中を伝搬してきた減衰している光信号を低雑音で増幅するプリアンプとして応用するというものである。プリアンプに対する要求条件は微小信号を低雑音で大きく増幅することであり、このような要求条件を満たす光増幅器が用いられる。

【0004】 これらの使用方法において、第1の方法(ブースターアンプとして使用する場合)では、大きな出力信号を得るために、光増幅器は、高い光強度でPrが添加されたファイバを励起することが必要である。ところで、従来より、Pr添加ファイバ増幅器(以後、PDFAという)には、励起光源として半導体レーザ(以後、LDという)が用いられてきた(参考文献1:M.Shimizu et al OFC/100C'93 postdeadline papers PD12,1 993.)。

【0005】

【発明が解決しようとする課題】 しかしながら、LDによる励起では、最大でも300mW程度の励起が限界であり、PDFAの出力は、13dBm程度が限界であった。ところが、ブースターアンプとして用いるには17dBm程度の出力が要求されるため、PDFAの特性は、ブースターアンプとして用いるには不十分なものであった。

【0006】 ところで、Prの<sup>1</sup>G<sub>4</sub>準位の基底状態吸収は、1.017μmを中心として±0.05μm以上の波長帯に広がっている。しかしながら、波長が中心波長である1.017μmから離れるに従い、光の吸収断面積は減少していき、中心波長以外では、励起光の吸収効率は悪くなってしまふ。もちろん、1.017μmに発振波長を有する大出力の小型レーザ光源があれば、それを用いてブースターアンプ用のPDFAを構成することはできる。

【0007】 しかしながら、現在のところ、そのような光源は存在しておらず、次善の策として、1.047μmに発振波長を有する、Nd:YLF(YLiF<sub>4</sub>)固体レーザを励起光源とする試みが行われている(参考文献2:T.Whitley et al OAA'92postdeadline papers PD4, 1992.)。発振波長が1.047μmである場合の吸収断面積は、1.017μmの場合に比較して、約2分1に低下してしまうため、1.017μm励起と比較すると、励起効率が悪くなり、PDFAから大出力を取り出すために必要な励起光の強度が増大してしまうと報告されている(参考文献2)。

【0008】 したがって、Nd:YLF固体レーザを励

起光源とした場合、励起光源を冷却するための周辺装置も必要になり、PDFAの小型化が困難となる。このため、特に小型、省エネルギー型の装置であることが要求される光通信用としては適用できないということが通説になっている。こうしたことから、小型固体レーザとしては、Nd:YLFよりも長波長で発振するNd:YAGレーザ（発振波長は $1.064\mu\text{m}$ ）等が存在するものの、発振波長がNd:YLFレーザよりさらに長波長にずれるため、Nd:YLFレーザよりも発振効率が良いにもかかわらず、PDFAの励起光源としては全く使用できないものと考えられている。

【0009】上述したように、従来では、 ${}^1\text{G}_4$ 準位の中心吸収波長（ $1.017\mu\text{m}$ ）に十分に近接した発振波長の励起光源が存在せず、また、当該中心吸収波長から離れた発振波長の励起光源を用いた場合には、十分に高い出力を得るために励起光の強度を増大する必要があり、PDFAを小型化することが困難であった。本発明は上述した事情に鑑みて為されたものであり、 ${}^1\text{G}_4$ 準位の中心吸収波長（ $1.017\mu\text{m}$ ）から離れた発振波長の励起光源を用いても十分に高い出力を得ることができる高出力光増幅器、特にPDFAを提供することを目的としている。

【0010】

【課題を解決するための手段】上記課題を解決するために、請求項1に記載の高出力光増幅器は、コアにPrが添加された光ファイバを増幅媒体とし、該増幅媒体を励起するための所定波長の励起光を発生する励起光源を備え、前記励起光源は希土類または遷移金属が添加された固体を増幅媒体としたレーザであり、前記光ファイバの長さを前記励起光の波長と前記増幅媒体の増幅特性とに基づいて設定することを特徴としている。

【0011】請求項2に記載の高出力光増幅器は、上記構成において、前記励起光の波長がPrの ${}^1\text{G}_4$ 準位の中心吸収波長から離れている場合には、前記光ファイバの長さを、前記中心吸収波長における前記光ファイバの最適長よりも長く設定することを特徴としている。請求項3に記載の高出力光増幅器は、上記構成において、前記レーザの増幅媒体は、Ndが添加された結晶体であることを特徴としている。請求項4に記載の高出力光増幅器は、請求項1ないし3いずれかに記載のものにおいて、前記レーザの増幅媒体は、陽イオンとしてY、Alを含む酸化物の結晶体であることを特徴としている。

【0012】請求項5に記載の高出力光増幅器は、上記構成において、前記光ファイバは、コアにPrおよびYbを添加してなることを特徴としている。請求項6に記載の高出力光増幅器は、上記構成において、前記光ファイバは、コア径がその長手方向に沿って変動していることを特徴としている。請求項7に記載の高出力光増幅器は、上記構成において、前記光ファイバのクラッド中にもPrを添加したことを特徴としている。

【0013】請求項8に記載の高出力光増幅器は、上記構成において、前記励起光源は、コアにNdまたはYbが添加されたガラスから成るファイバレーザ、あるいはNdまたはYbが添加されたガラスを活性媒体とするガラスレーザであることを特徴としている。請求項9に記載の高出力光増幅器は、請求項8に記載のものにおいて、NdまたはYbが添加された前記ガラスは、フッ化物ガラス、リン酸ガラス、フッリン酸ガラス、シリカガラス、ケイ酸塩ガラス、ポイントガラス、AlF<sub>3</sub>-ZrF<sub>4</sub>、フッ化物ガラス、あるいはフッ化ベリレイトガラスであることを特徴としている。

【0014】

【作用】上記構成によれば、励起光の波長および光ファイバの増幅特性に基づいて、光ファイバの長さを設定する。すなわち、Prの ${}^1\text{G}_4$ 準位の中心吸収波長から離れた波長で励起する場合にも、光ファイバの長さが適切に設定され、得られる利得が著しく低下するということがない。このため、既存の安価な光源を励起光源として使用可能となり、その場合でも十分に高い出力が得られる。

【0015】

【実施例】本発明の実施例について説明する前に、まず、本発明の基本となる考え方について説明する。一般に、所定波長の励起光をプラセオジム（Pr）添加ファイバに入射した場合、当該ファイバを所定の長さ（以後、最適長という）にすることにより、当該ファイバから最大の信号出力を得ることができる。これは、ファイバが不必要に長ければ（例えば、励起光が、ある長さで全て吸収されている場合に、その長さより長いファイバを光増幅として用いた場合）、ファイバは有限の損失を有するために、増幅された信号光が、ファイバ中の増幅を受けない部分で減衰してしまうためである。

【0016】もちろん、上記最適長は、ファイバのコアに添加するPrの濃度に依存するが、 $1.017\mu\text{m}$ 励起であって、かつ、Prの濃度が500ppmである場合には、15m~20m程度である。しかしながら、この程度の長さのファイバを増幅媒体とした場合では、前述したように、励起波長が $1.017\mu\text{m}$ から離れれば離れるほど、利得を得難くなり、出力される信号出力が低下することになる。この様子は、一般に広く知られているため、中心波長である $1.017\mu\text{m}$ に発振波長が合致した高出力レーザの開発が、従来より行われているのである。

【0017】しかしながら、翻って考えれば、中心波長以外の波長で励起した場合、利得が低下するのは、 ${}^1\text{G}_4$ 準位の吸収断面積が小さくなり、ファイバの一端へ入射された励起光のパワーの全てがファイバ中のPrに吸収されることなく、一部のパワーがファイバの他端より出射されるためである。したがって、ファイバをより長くすれば、入射された励起光はファイバ中のPrにより多

5

く吸収されることになり、利得は上昇する筈である。

【0018】すなわち、従来は、1.017 $\mu$ mと離れた波長で励起する場合にも、ファイバ長を適切に選択すること自体が知られていなかったため、1.017 $\mu$ mの場合とはほぼ同一の長さのファイバを使用しており、これにより、利得が著しく低下していたということが出来る。これに対して、本発明では、励起波長に応じてファイバ長を選択することにより、既存の廉価な光源を励起光源としても高い出力特性の光増幅器を構成できるようにしたものである。以下、上述した基本的な考え方に基

づいて為された本発明の実施例について、図面を参照して説明する。

【0019】〔第1実施例〕図1は、本発明の第1実施例による高出力光増幅器の概略構成を示す図であり、この図において、6は信号光源であり、本実施例では、1.3 $\mu$ m発振の半導体レーザを適用している。7、8はそれぞれ光アイソレータ、4は励起光源であり、本実施例では、例えば、LD励起Tl:Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>（サファイヤ）レーザを適用している。2、5は光カップラ、10は励起光源4からの励起光を2分割して光カップラ2、5へ導く光スプリッタ、3は増幅用ファイバ、9は光スペクトラムアナライザである。

【0020】このような構成において、信号光源6からの信号光は、光アイソレータ7および光カップラ2を介して、増幅用ファイバ3へ導かれ、当該増幅用ファイバ3で増幅された後、光カップラ5および光アイソレータ8を介して、光スペクトラムアナライザ9へ導かれる。ところで、本実施例では、増幅用ファイバ3として、コア・クラッド屈折率差3.7%、コア径1.8 $\mu$ m、コア中のPr濃度1000ppmのZrF<sub>4</sub>系フッ化物ファイバ（以後、単にフッ化物ファイバという）を用いている。

【0021】ここで、図2を参照して、増幅用ファイバ3の出力信号特性について考察する。図2は、励起光強度を400mW一定とし、増幅用ファイバ3の長さ

と励起光波長とをそれぞれ変えて、1.30 $\mu$ mの信号光に対する利得の測定結果の一例を示した図である。この図から、ファイバ長が所定の長さより長くなると、同一のファイバ長では、1.017 $\mu$ mより長波長の励起の方が、1.017 $\mu$ mの励起より高利得となることがわかる。

【0022】例えば、ファイバ長が10mの場合には、1.017 $\mu$ m励起の方が、1.064 $\mu$ m励起より、約20dBだけ高利得となっているが、ファイバ長が60mの場合には、逆に、1.064 $\mu$ m励起の方が、1.017 $\mu$ m励起より、約2dBだけ高利得となっている。また、ファイバ長が20mの場合の最大利得と、ファイバ長が60mの増幅用ファイバ3を1.064 $\mu$ mで励起した場合の利得との差は、2dB以下となっており、1.064 $\mu$ m励起でも十分な大きな利得を得る

6

ことができることが確認された。

【0023】次に、増幅用ファイバ3を1.017 $\mu$ m発振のLDで励起した場合（ファイバ長は20m）と、1.064 $\mu$ m発振のNd:YAGレーザで励起した場合（ファイバ長は60m）との1.30 $\mu$ mの信号強度の励起光強度依存性を、図3を参照して考察する。なお、この図に示す信号強度は、1mWの強度の信号を増幅用ファイバ3へ入射した場合に得られたものである。

【0024】図3から明らかなように、LD励起の場合には、最大でも300mWの強度でしか励起できず、最大信号出力も22mW程度であったが、Nd:YAGレーザを用いると、800mWの強度まで励起可能であり、その際には、120mWの信号出力を得ることができた。一般に、ブースターアンプとしてPDFAを使用する場合、50mW以上の信号出力が要求される。したがって、励起光源4としてNd:YAGレーザを用いた場合、ブースターアンプとして十分に使用に耐え得る高出力光増幅器を構成することができる。

【0025】〔第2実施例〕図4は、本発明の第2実施例による高出力光増幅器の概略構成を示す図であり、この図に示す高出力光増幅器は、2つの双方向励起光増幅ユニットA、Bを、光アイソレータ11を介して直列に接続して構成されている。なお、この図において、図1の各部と共通する部分には同一の符号を付し、その説明を省略する。

【0026】図4に示すように、双方向励起光増幅ユニットAは、光カップラ2A、5Aと、パットジョイント部14A、14Aと、希土類添加光ファイバからなる増幅用ファイバ3Aとから構成される。上記光カップラ2Aの一方の入力端2Aaには、励起光源4が光スプリッタ10'を介して接続され、他方の入力端2Abには、信号光源6が光アイソレータ7を介して接続され、さらに、出力端2Acには、パットジョイント部14Aを介して希土類元素が添加された増幅用ファイバ3Aの一端3Aaが接続されている。

【0027】また、光カップラ5aには、パットジョイント部14Aを介して増幅用ファイバ3Aの他端3Abが接続され、光カップラ5aの出力端5aには、光アイソレータ11が接続されている。すなわち、双方向励起光増幅ユニットAは、励起光源4からの励起光を、光スプリッタ10'、光カップラ2A、および光ファイバ3Aを介して入射し、かつ、光ファイバ3Aから伝搬される増幅信号光を出力端5Aaから出力する。

【0028】上述した双方向励起光増幅ユニットAと同様に、双方向励起光増幅ユニットBは、一方の入力端2Baに励起光源4が接続され、他方の入力端2Bbから信号光が入力される第1の光カップラ2Bと、この光カップラ2Bの出力端2Bcに一端3Baが接続された希土類元素が添加された増幅用ファイバ3Bと、この増

幅用光ファイバ3Bに接続され、励起光源4からの励起光を光ファイバ3Bの他端3Bbから入射し、かつ、光ファイバ3Bから伝搬される増幅信号光を出力端5Baから出力する光カップラ5Bとを備えている。

【0029】なお、本実施例において、上記励起光源4としては、1.064 $\mu$ mで発振するLD励起Nd:YAGレーザ等が用いられる。また、上記光カップラ2Aは、信号光と励起光とを結合させ、増幅用光ファイバ3Aへ入射するためのものである。さらに、光カップラ5A、2B、5Bは、増幅用光ファイバ3Aまたは3Bを

双方向励起させるものであり、特に、光カップラ5A、2Bは、増幅用光ファイバ3Aから出射された信号光を増幅用光ファイバ3Bへ導入するためのものである。また、光カップラ5Bは、増幅用光ファイバ3Bからの増幅信号光を出力するためのものである。

【0030】このような構成において、増幅用光ファイバ3Aで増幅された信号光は、光カップラ5A、光アイソレータ11、光カップラ2Bを経由して光ファイバ3Bへ入射され、ここで再度増幅されることになる。本出願人は、上述した構成および動作の高出力光増幅器を用いて増幅試験を行った。この試験に供した高出力光増幅器の増幅用光ファイバ3Aとしては、コア径を1.6 $\mu$ m、長さを60m、コアクラッド比屈折率差「 $\Delta n$ 」を3.7%、コア中のPr<sup>3+</sup>の添加濃度を1000ppm、コア組成がZrF<sub>4</sub> (56) - BaF<sub>2</sub> (16.5) - LaF<sub>3</sub> (3.5) - YF<sub>3</sub> (2) - AlF<sub>3</sub> (2.5) - LiF (7) - PbF<sub>2</sub> (12.5モル%)、クラッド組成がZrF<sub>4</sub> (47.5) - BaF<sub>2</sub> (23.5) - LaF<sub>3</sub> (2.5) - YF<sub>3</sub> (2) - AlF<sub>3</sub> (4.5) - NaF (20モル%) のフッ化物ファイバを用いた。また、増幅用光ファイバ3Bとして、増幅用光ファイバ3Aと同一のものを使用した。このような増幅試験の結果、前述した第1実施例による高出力光増幅器と同様、1.30 $\mu$ mの光信号を入射させ、出力強度を測定したところ、励起光が800mWのとき120mW以上の出力が得られた。

【0031】〔第3実施例〕本発明の第3実施例による高出力光増幅器の構成が、上述した第2実施例によるものと異なる点は、励起光源4 (図4参照) として、Nd:YLF (発振波長: 1.053 $\mu$ m) を用いた点である。本実施例による高出力光増幅器を用いて増幅試験を行ったところ、800mWの励起で120mW以上の信号出力が得られた。

【0032】〔第4実施例〕本発明の第4実施例による高出力光増幅器の構成が、前述した第2実施例によるものと異なる点は、増幅用光ファイバ3Bとしてコア・クラッド屈折率差3.7%、コア径2.2 $\mu$ m、長さ60m、コア中のPr濃度1000ppmのInF<sub>3</sub>系フッ化物ファイバを用いた点である。本実施例による高出力光増幅器を用いて増幅試験を行ったところ、800mW

の励起で130mW以上の信号出力が得られた。

【0033】〔第5実施例〕本発明の第5実施例による高出力光増幅器の構成が、前述した第2実施例によるものと異なる点は、増幅用光ファイバ3A、3Bのファイバ長をそれぞれ40mとし、かつ、励起光源4としてYb:YAG (発振波長: 1.029 $\mu$ m) を用いた点である。本実施例による高出力光増幅器を用いて増幅試験を行ったところ、700mWの励起で120mW以上の信号出力が得られた。

【0034】〔第6実施例〕本発明の第6実施例による高出力光増幅器の構成が、前述した第2実施例によるものと異なる点は、増幅用光ファイバ3Aとして、コア径を1.6 $\mu$ m、長さを60m、コアクラッド比屈折率差「 $\Delta n$ 」を3.7%、コア中のPr<sup>3+</sup>の添加濃度を1000ppm、コア組成がZrF<sub>4</sub> (56) - BaF<sub>2</sub> (16.5) - LaF<sub>3</sub> (3.5) - YF<sub>3</sub> (2) - AlF<sub>3</sub> (2.5) - LiF (7) - PbF<sub>2</sub> (12.5モル%)、クラッド組成がZrF<sub>4</sub> (47.5) - BaF<sub>2</sub> (23.5) - LaF<sub>3</sub> (2.5) - YF<sub>3</sub> (2) - AlF<sub>3</sub> (4.5) - NaF (20モル%) のフッ化物ファイバを用いた点と、増幅用光ファイバ3Bとして、コア径を3 $\mu$ m、長さを60m、コアクラッド比屈折率差「 $\Delta n$ 」を2%、コア中のPr<sup>3+</sup>の添加濃度を1000ppm、コア組成がZrF<sub>4</sub> (56) - BaF<sub>2</sub> (21) - LaF<sub>3</sub> (3.5) - YF<sub>3</sub> (2) - AlF<sub>3</sub> (2.5) - LiF (7) - PbF<sub>2</sub> (8モル%)、クラッド組成がZrF<sub>4</sub> (47.5) - BaF<sub>2</sub> (23.5) - LaF<sub>3</sub> (2.5) - YF<sub>3</sub> (2) - AlF<sub>3</sub> (4.5) - NaF (20モル%) のフッ化物ファイバを用いた点である。すなわち、上流側に位置する双方向光増幅ユニットAの増幅用光ファイバ3Aの屈折率差が、下流側に位置する双方向光増幅ユニットBの増幅用光ファイバ3Bの屈折率差よりも大となっている。本実施例による高出力光増幅器を用いて増幅試験を行ったところ、800mWの励起で120mW以上の信号出力が得られた。

【0035】〔第7実施例〕本発明の第7実施例による高出力光増幅器が、第1実施例によるもの (図1参照) と異なる点は、図5に示すように、増幅用光ファイバ3として、クラッド12中のコア13の一端のコア径Wを小とし、他端のコア径W'を大とした光ファイバを用いた点である。すなわち、増幅用光ファイバ3のコア径を、その長手方向に沿って徐々に変化させ、信号光の入力側から、信号光の出力側に向けてコア径が次第に大となるよう増幅用光ファイバ3を構成している。上述した構成をとることにより、増幅用光ファイバ3のコア径が小なる領域 (伝搬する信号光の上流側) では大きな利得が得られ、コア径が大なる領域 (伝搬する信号光の下流側) では高い飽和出力が実現される。

【0036】本実施例による高出力光増幅器を用いて、

第1実施例と同様に増幅実験を行った。ただし、この増幅試験に供した高出力光増幅器の増幅用光ファイバ3は、コアガラス組成が、 $ZrF_4$  (56) -  $BaF_2$  (16.5) -  $LaF_3$  (3.5) -  $YF_3$  (2) -  $AlF_3$  (2.5) -  $LiF$  (7) -  $PbF_2$  (12.5モル%)、クラッドガラス組成が、 $ZrF_4$  (47.5) -  $BaF_2$  (23.5) -  $LaF_3$  (2.5) -  $YF_3$  (2) -  $AlF_3$  (4.5) -  $NaF$  (20モル%) のフッ化物ファイバを用いた。

【0037】また、光ファイバの一端のコア径は1.4  $\mu m$ 、他端のコア径は2.2  $\mu m$ 、コアクラッド屈折率差「 $\Delta n$ 」を3.7%、コア中の $Pr^{3+}$ の添加濃度を1000 ppmとした。もちろん、コア径の小なる光ファイバ端を光カップラ2に接続し、他端を光カップラ5に接続した。また、励起光源の波長は1.064  $\mu m$ であり、信号光波長は1.30  $\mu m$ とした。上記増幅試験の結果、励起光強度が800 mWのとき、増幅用光ファイバ3より120 mW以上の出力信号が確認された。

【0038】〔第8実施例〕本発明の第8実施例による高出力光増幅器の構成が、前述した第2実施例によるものと異なる点は、増幅用光ファイバ3A、3Bそれぞれのコアに $Pr$ を1000 ppm添加し、クラッドにも $Pr$ を300 ppm添加した点である。ただし、 $Pr$ 以外の組成は、第2実施例によるものと同様である。本実施例による高出力光増幅器を用いて増幅実験を行ったところ、800 mWの励起で120 mW以上の信号出力が得られた。ただし、上記増幅実験において、増幅用光ファイバ3A、3Bそれぞれのファイバ長を50 mとした。

【0039】〔第9実施例〕本発明の第9実施例による高出力光増幅器の構成が、前述した第1実施例によるものと異なる点は、励起光源4 (図1参照) として、Ndがコアにドープされた $ZrF_4$ 系フッ化物ファイバレーザ (発振波長は1.05  $\mu m$ ) を用いた点と、このファイバレーザの励起光源として、 $GaAlAs$  半導体レーザを用いて、 $^4F_{7/2}$ 、 $^4F_{5/2}$  又は  $^4F_{3/2}$  準位を励起した点である。本実施例による高出力光増幅器において、波長が1.30  $\mu m$ 、かつ、 $OdBm$ の信号光を入射して出力信号強度を測定したところ、800 mWの励起 (波長1.05  $\mu m$ ) に対して、120 mW以上の出力信号が確認できた。

【0040】なお、励起光源4として、Ndがコアにドープされたフッリン酸ガラスファイバ (発振波長1.05  $\mu m$ )、リン酸ガラスファイバ (発振波長1.053  $\mu m$ )、ケイ酸塩ガラスファイバ (発振波長1.06  $\mu m$ )、シリカガラスファイバ (発振波長1.06  $\mu m$ )、ボレイトガラスファイバ (発振波長1.06  $\mu m$ )、フッ化ベリレイトガラスファイバ (発振波長1.047  $\mu m$ )、 $AlF_3$  -  $ZrF_4$  系フッ化物ガラスファイバ (発振波長1.05  $\mu m$ 、参考文献3: Material Science Forum, Vol. 19-20, P. 19, 1987.) を用いた場合

でも、波長1.30  $\mu m$ で120 mW以上の信号出力を得ることができた。

【0041】また、本実施例では、Ndドープファイバレーザを用いたが、これに代えて、それぞれのガラスを用いたNdドープガラスレーザを励起光源として使用しても良いことは言うまでもない。これらファイバレーザおよびガラスレーザを用いた場合、Ndを励起するために用いる $^4F_{7/2}$ 、 $^4F_{5/2}$  又は  $^4F_{3/2}$  準位等の吸収帯のバンド幅は結晶中よりも広く、励起波長を選択しやすいという利点も生じる。

【0042】〔第10実施例〕本発明の第10実施例による高出力光増幅器の構成が、上述した第9実施例によるものと異なる点は、励起光源4 (図1参照) として、図6 (a)、図6 (b) あるいは図7 (a)、図7 (b) に示すような構造を有するいわゆる2重クラッドファイバによるファイバレーザを用いた点である。本実施例による高出力光増幅器を用いて増幅実験を行ったところ、波長1.30  $\mu m$ で100 mW以上の信号出力を得ることができた。

【0043】〔第11実施例〕本発明の第11実施例による高出力光増幅器の構成が、上述した第9および第10実施例によるものと異なる点は、第9および第10実施例のファイバレーザ又はガラスレーザの活性イオンとして、NdおよびYbをドープしたものを励起光源4 (図1参照) として用いる点である。これらのレーザの励起光源としては、 $GaAlAs$  半導体レーザを用い、これによりNdの $^4F_{7/2}$ 、 $^4F_{5/2}$  又は  $^4F_{3/2}$  準位を励起している。上記励起が為されると、NdからYbへのエネルギー移動が起こり、Ybの $^2F_{5/2}$  準位が励起され、Ybの $^2F_{5/2} \rightarrow ^2F_{7/2}$  遷移による波長1.02  $\mu m$ のレーザ発振が開始される。このレーザ光で $Pr$ ドープファイバ (増幅用光ファイバ3) を実際に励起した結果、波長1.30  $\mu m$ で100 mW以上の信号出力が得られた。

【0044】〔第12実施例〕本発明の第12実施例による高出力光増幅器の構成が、上述した第11実施例によるものと異なる点は、第11実施例のファイバレーザ又はガラスレーザの励起光源として、 $InGaAs$  半導体レーザ (波長940~980 nm) を用いてYbの $^2F_{5/2}$  準位を励起して、Ybの $^2F_{5/2} \rightarrow ^2F_{7/2}$  遷移による1.02  $\mu m$ 発振を起こさせている点である。このレーザ光で $Pr$ ドープファイバを実際に励起した結果、波長1.30  $\mu m$ で100 mW以上の信号出力を得ることができた。

【0045】以上説明した各実施例では、Nd:YAG (1.064  $\mu m$ )、Nd:YLF (1.053  $\mu m$ )、Yb:YAG (1.029  $\mu m$ ) を用いたLD励起の固体レーザを励起光源として用いるが、励起用の固体レーザは、これらに限られるものではない。例えば、1.047  $\mu m$ 発振のNd:YLF固体レーザでも良

11

く、 $\text{Pr}^{3+}$ の $^3\text{H}_4 \rightarrow ^1\text{G}_4$ 吸収遷移の吸収帯に発振波長が含まれるものであり、かつ、高出力なものであれば、励起光源として使用可能である。もちろん、増幅器の経済性から鑑み、できるだけ量子効率が高いものが望ましいのは言うまでもない。これは、量子効率の高いものでは、発熱量が低減されるため、増幅器を構成する際の放熱手段等を簡易なものとする事ができるためである。

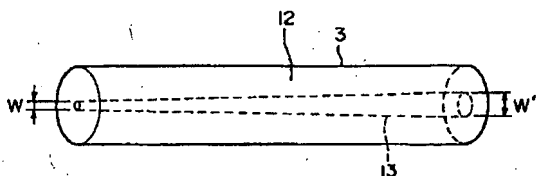
【0046】なお、上記各実施例においては、ファイバ素材として、 $\text{ZrF}_4$ 系および $\text{InF}_3$ 系のフッ化物ガラスを用いたが、素材としては、これに限定されるものではない。例えば、 $\text{HfF}_4$ 系のフッ化物ガラス等の $\text{ZrF}_4$ 系以外のフッ化物ガラス、塩化物ガラス、ヨウ化物ガラス、臭化物ガラス、複数のハライドイオンを陰イオンとするミックスハライドガラス、カルコゲナイドガラス、ハライドイオンを含んだカルコハライドガラス、フッリン酸ガラス、石英ガラス等の酸化物ガラスであってもよい。また、コアに $\text{Pr}$ のみ添加されたファイバを増幅用ファイバとして用いたが、 $\text{Pr}$ および $\text{Yb}$ が、共に添加されたファイバをも用いることができることは言うまでもない。

【0047】

【発明の効果】以上説明したように、本発明によれば十分に高い出力特性を有する $\text{Pr}$ ドープファイバンプ(PDFA)を構成することが可能であり、当該PDFAを光通信システム中でブースターアンプとして使用することができる。特に、最近では安価かつ高出力の固体レーザの入手が容易になっているため、これを増幅器の励起光源として用いることができる本発明では、出力特性および雑音特性に優れたPDFAを安価で提供することが可能となり、大きな経済効果をもたらすことができる。主な応用分野としては、光ケーブルテレビシステムでの応用があり、本発明による高出力光増幅器を適用すれば、これまでにない低コストな光ケーブルテレビシステムを提供できる。

【図面の簡単な説明】

【図5】



12

【図1】本発明の第1実施例による高出力光増幅器の概略構成を示す図である。

【図2】同実施例による増幅用光ファイバ3の増幅特性を示す特性図である。

【図3】同実施例で得られた信号光の励起光強度依存性を示す特性図である。

【図4】本発明の第2実施例による高出力光増幅器の概略構成を示す図である。

【図5】本発明の第7実施例による高出力光増幅器に用いられる増幅用光ファイバ3の構造を説明するための概念図である。

【図6】本発明の第10実施例による高出力光増幅器に用いられるファイバレーザのファイバ部分の構造を説明するための図であり、(a)は同ファイバの断面構造を表す概念図、(b)は同断面における屈折率分布を示す特性図である。

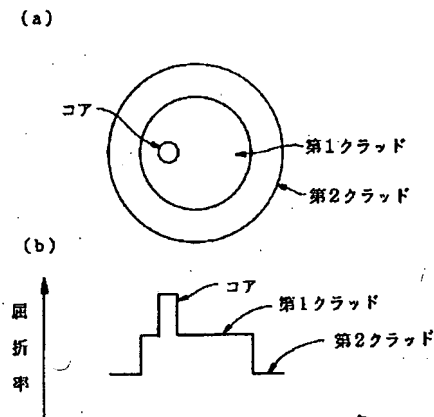
【図7】本発明の第10実施例による高出力光増幅器に用いられるファイバレーザのファイバ部分の構造を説明するための図であり、(a)は同ファイバの断面構造を表す概念図、(b)は同断面における屈折率分布を示す特性図である。

【図8】 $\text{Pr}^{3+}$ のエネルギーダイヤグラムである。

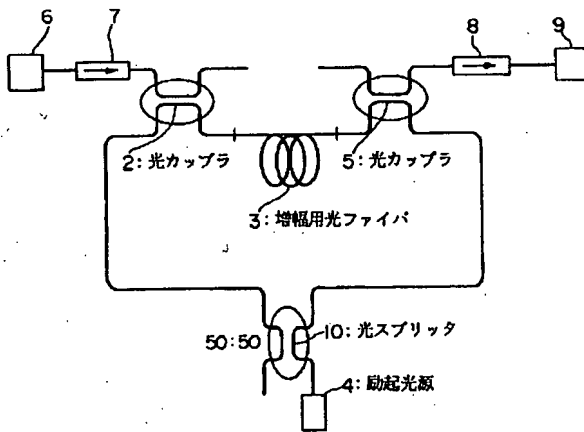
【符号の説明】

- 2, 2A, 2B 光カップラ
- 3, 3A, 3B 増幅用光ファイバ
- 4 励起光源
- 6 信号光源
- 7, 8, 11 光アイソレータ
- 9 光スペクトラムアナライザ
- 10, 10' 光スプリッタ
- 12 クラッド
- 13 コア
- 14A, 14B バットジョイント部
- A, B 双方向励起光増幅ユニット

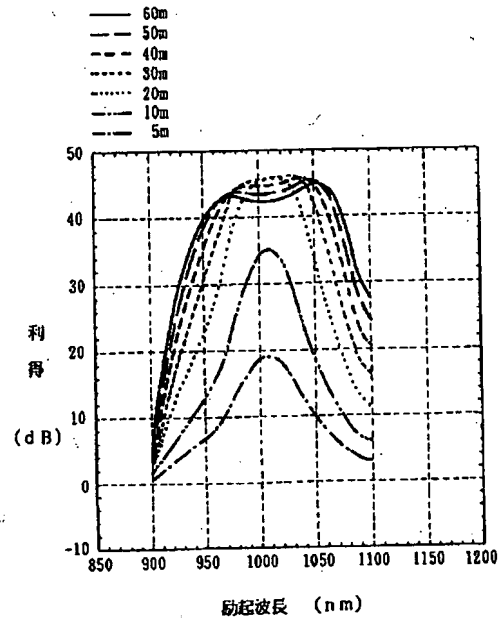
【図6】



【図1】

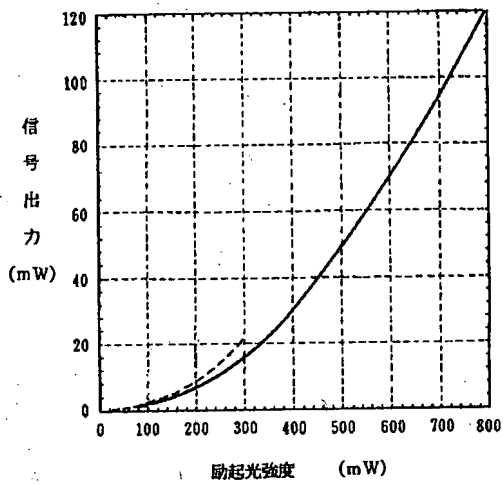


【図2】

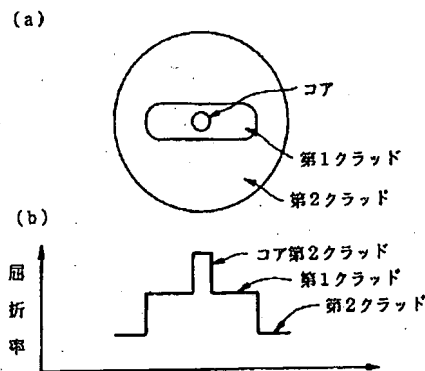


【図3】

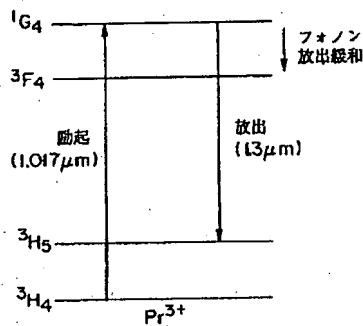
--- 1.017  $\mu\text{m}$  LD励起  
 — 1.064  $\mu\text{m}$  Nd:YAG励起



【図7】

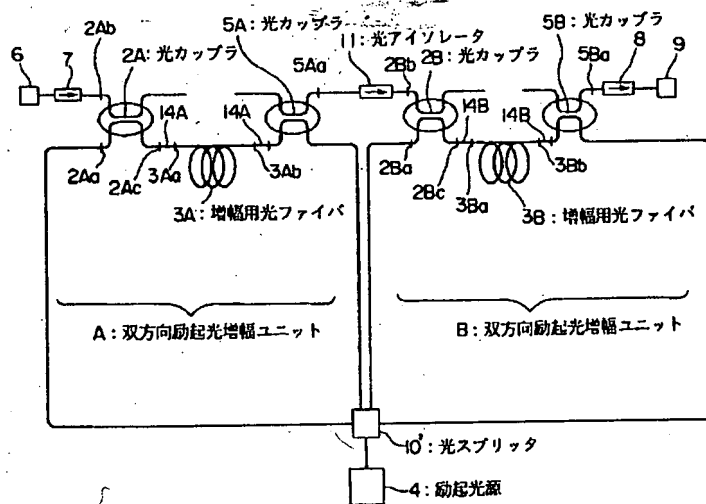


【図8】





【図4】



フロントページの続き

(72)発明者 山田 誠

東京都千代田区内幸町一丁目1番6号 日  
本電信電話株式会社内

(72)発明者 須藤 昭一

東京都千代田区内幸町一丁目1番6号 日  
本電信電話株式会社内